

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

*Innovation*  
①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 197 42 205 A 1**

⑤1 Int. Cl. 6:  
**G 12 B 1/00**  
B 25 J 7/00  
// H02N 2/06

②  
**DE 197 42 205 A 1**

②1 Aktenzeichen: 197 42 205.5  
②2 Anmeldetag: 24. 9. 97  
④3 Offenlegungstag: 12. 3. 98

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦1 Anmelder:

Heinzl, Joachim, Prof. Dr.-Ing., 81549 München, DE;  
Reiländer, Udo, 87669 Rieden, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Anmelder

Rechercheantrag gem. § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt

⑤4 Mikropositioniereinrichtung

- ⑤7 An einer Grundplatte, in der sich verschiedene Anschlußstellen befinden, sind Gelenkstücke angebracht, an welche Stäbe, mit denen Freiheitsgrade gefesselt werden und Aktoren, mit denen Freiheitsgrade gestellt werden, gekoppelt sind. Die Stäbe und die Aktoren sind an ihrem anderen Ende wiederum mit Gelenkstücken mit einer Deckplatte verkoppelt. Es können drei oder mehr Stäbe und vier oder mehr Aktoren verwendet werden. Durch die bezüglich der Stäbe schiefgestellten Aktoren können beliebige Übersetzungen von den Bewegungen der einzelnen Aktoren zur Bewegung der Deckplatte gegenüber der Grundplatte erreicht werden. Als Bestandteil einer Montageanlage für miniaturisierte Bauteile ist die Mikropositioniereinrichtung dazu geeignet, Positionierungsungenauigkeiten übergeordneter Handhabungsgeräte zu kompensieren.

**DE 197 42 205 A 1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 702 071/828

11/23

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Mikropositioniereinrichtung, insbesondere eine Mikropositioniereinrichtung als Bestandteil einer Anlage für die automatisierte Präzisionsmontage. Die Mikropositioniereinrichtung hat im speziellen die Aufgabe, Positionierungsungenauigkeiten und Strukturschwingungen eines übergeordneten Handhabungsgeräts, wie z. B. Industrieroboter oder Bestückungsautomaten für die Elektronikfertigung, auszugleichen.

Mikropositioniereinrichtungen sind vor allem aus dem Bereich der Mikroskopie bekannt. Ihre Funktion besteht in der Positionierung von Gegenständen gegenüber Bezugspunkten mit sehr hoher Genauigkeit, ihre maximal möglichen Stellwege sind in der Regel klein. Die meisten Mikropositioniereinrichtungen haben einen oder zwei Freiheitsgrade.

Als Antrieb für Mikropositioniereinrichtungen können unterschiedliche Aktorprinzipien verwendet werden. Bei Verwendung von elektrodynamischen und elektromagnetischen Direktantrieben ist eine aufwendige Positionsregelung notwendig, da im unregelmäßigen Fall keine stabile Gleichgewichtslage möglich ist. Bei Verwendung piezoelektrischer Direktantriebe ist eine Übersetzung nötig, um die gewünschten Stellwege zu erreichen.

Die Übersetzung piezoelektrisch angetriebener Mikropositioniereinrichtungen erfolgt meistens über eine Hebelanordnung, bei der der Piezoaktor gegen einen einseitig eingespannten Hebel drückt und der Abtrieb am freien Ende des Hebels abgegriffen wird. Ein derartiges Prinzip wird beispielsweise beim "Macroblock Translator P-287" der Firma "Physik Instrumente GmbH & Co., Walldbronn" angewendet. Ebenfalls üblich ist die Übersetzung durch Verzerrung eines Rechtecks zu einem Parallelogramm. Hierbei muß zur Rückstellung eine Feder wie beim "Piezomike" der Firma "Physik Instrumente" vorgesehen werden — die Feder kann auch das Gelenk selbst sein — oder ein zweiter Aktor wie in DE 44 45 642 A1 vorgeschlagen. Der Nachteil einer solchen Anordnung ist, daß nur eindimensionale Bewegungen ausgeführt werden können. Mehrdimensionale Stellbewegungen können durch geeignete Anordnung mehrerer eindimensionaler Antriebe realisiert werden. Ein mehrdimensionaler Antrieb benötigt für jeden Freiheitsgrad einen eigenen autarken Aktor und eine eigene Führung. Der für eine Bewegung entlang einer speziellen Achse vorgesehene Aktor kann nur für Bewegungen in dieser speziellen Richtung genutzt werden. Eine Mikropositioniereinrichtung geringer Masse für mehrere Freiheitsgrade ist so nicht möglich. Bei modularem Aufbau ist ferner für störungsfreien Betrieb für jeden Aktor eine Rückstellfeder oder ein zweiter Aktor, der die Rückbewegung treibt, vorzusehen. Mehrdimensionale Mikropositioniereinrichtungen der beschriebenen Funktionsweise sind bereits auf dem Markt erhältlich, z. B. "asy/xyn/40/a" der Firma "marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH".

Ebenfalls Stand der Technik sind integrale Aufbauten, die für sechsdimensionale Bewegungen geeignet sind. Diese als Hexapoden bekannten Mechanismen verfügen über sechs in ihrer Wirklänge verstellbare Stäbe. Die Stäbe sind dabei so angeordnet, daß keiner von ihnen zu einem anderen parallel ist. Auf die Stäbe kann, abhängig vom jeweiligen Belastungsfall, Zug- oder Druckbelastung wirken. Die Verstellung kann beispielsweise durch Längenänderung der Stäbe erfolgen. Diese

Ausführungsform wird teilweise bei Fahr- und Flugsimulatoren eingesetzt. Im Feinpositionierbereich wird von der Firma "Physik Instrumente" ein sogenannter "Hexapod-Roboter" angeboten, der nach diesem Prinzip funktioniert. Eine andere Möglichkeit, die Stäbe zu verstellen, ist die Verschiebung der Stabanlenkpunkte nicht längenveränderlicher Stäbe. Eine solche Anordnung wird in DE 296 18 149 U beschrieben.

Für bestimmte Anwendungsfälle werden Anordnungen benötigt, welche weniger als sechs Achsen besitzen. Beispielsweise werden zum Positionsausgleich bei Handhabungsgeräten wie z. B. Robotern in der Mikromontage drei Achsen benötigt. Hexapoden sind in der Lage, Verstellungen in allen sechs Festkörperfreiheitsgraden zu ermöglichen. Sie benötigen hierzu sechs, in beide Richtungen wirkende Aktoren. Da Hexapoden in der Regel sehr teuer sind, sind sie für den beschriebenen Anwendungsfall weniger geeignet.

Für diesen Anwendungsfall wird erfindungsgemäß mit einer Mikropositioniereinrichtung mit den Merkmalen nach Anspruch 1 eine Lösung angeboten.

Durch die Idee, einen mehrdimensionalen Stellantrieb derart integral aufzubauen, daß bestimmte Fesselungen mit niedriger Redundanz im Mechanismus vorkommen, d. h. Fesselungen werden mit möglichst wenigen Koppelementen ermöglicht, kann eine Mikropositioniereinrichtung realisiert werden, die sehr leicht ist. Da einerseits das Verhältnis von Aktormasse und Gesamtmasse hoch ist und andererseits funktionsstörende Überbestimmung größtenteils vermieden wird, verfügt die Mikropositioniereinrichtung über eine gute Dynamik bei gleichzeitig großem Stellweg. Im Mechanismus befinden sich aktive Elemente, die Aktoren, mit welchen die nicht gefesselten Festkörperfreiheitsgrade des Mechanismus quantisiert bzw. eingestellt werden können.

Durch die Idee, das System aktorseitig genau einmal überzubestimmen, kann auf die bei Piezoaktoren üblichen Vorspannfedern verzichtet werden und, anstatt für jeden Freiheitsgrad einen eigenen Rücksteller vorzusehen, kann insgesamt ein einziger Rücksteller verwendet werden. Es kann somit ein Gegenspielerprinzip realisiert werden, bei dem Piezoaktoren nur mit Drucklast beaufschlagt werden. Spieler und Gegenspieler bilden eine Parallelschaltung von Federn. Da sich bei einer Parallelschaltung die einzelnen Steifigkeiten zur Gesamtsteifigkeit summieren, ist es bei einer Anordnung nach Anspruch 1 möglich, große Gesamtsteifigkeiten zu erreichen.

Aufgrund dieser Überlegungen ist es möglich, eine Mikropositioniereinrichtung mit vier passiven Stäben und drei aktiven Stäben gemäß Anspruch 1 zu realisieren. Eine solche Mikropositioniereinrichtung ist dazu geeignet, zwei Translationen und eine Rotation auszuführen.

Die Mikropositioniereinrichtung besteht im wesentlichen aus einem Sockelelement, der Grundplatte, einem Positionierelement, der Deckplatte, mehreren Stäben, mehreren Aktoren und mehreren Gelenkstücken. Die Deckplatte wird gegenüber der Grundplatte positioniert. Die Deckplatte wird mit den Stäben, vorzugsweise drei, gegenüber der Grundplatte in mehreren Freiheitsgraden gefesselt. Für den speziellen Anwendungsfall des Positionsausgleichs bei der Roboteranordnung sind zwei translatorische Freiheitsgrade senkrecht zur und ein rotatorischer Freiheitsgrad um die Fügeachse nötig. Kippfehler und translatorische Fehler entlang der Fügeachse werden nicht ausgeglichen.

Um die geforderten Bewegungen zu ermöglichen,

müssen die drei Stäbe parallel und gleich lang sein. Weiterhin dürfen sie sich nicht in einer Ebene befinden. Mit dieser Bedingung können alle Punkte des Endeffektors Bewegungen auf einer sphärischen Oberfläche ausführen. Da die Stäbe gleich lang sind, sind auch die Sphärenradien der Bewegungsräume aller Punkte gleich und aus diesem Grund bleibt der Winkel zwischen Grund- und Deckplatte immer gleich. In einer bevorzugten Variante wird dieser Winkel zu Null gewählt. Die Stäbe sind auf einer Seite mit Kugelgelenken und auf der anderen Seite mit Kardangelenken an die Grundplatte bzw. an die Deckplatte gekoppelt.

Weiterhin sind vorzugsweise vier Aktoren eingebaut. Wesentlich für die Funktion ist, daß bei der Verwendung von unidirektional wirkenden Aktoren hierunter fallen auch Piezoaktoren, falls sie nur mit Drucklast beaufschlagt werden sollen die Anzahl  $m$  der Aktoren die Anzahl der gewünschten Freiheitsgrade  $n$  gerade um 1 übersteigt.

Zur Realisierung dreidimensionaler Bewegungen in einer Ebene sind vier Aktoren nötig.

Die Aktoren sind derart angeordnet, daß sich die Projektionen der Kraftwirkungslinien in diese Ebene jeweils zweier Aktoren in einem Punkt schneiden. Dies führt zu zwei Kraftwirkungslinienschnittpunkten. Diese beiden Schnittpunkte können auf den gleichen sphärischen Oberflächen bewegt werden, wie jeder beliebige Punkt der Deckplatte.

Die beiden Schnittpunkte dürfen nicht zusammenfallen. Somit ist gewährleistet, daß bei gleichartiger Translation beider Schnittpunkte rein translatorische Stellbewegungen vollführt werden. Sind die Translationen ungleichartig, so wird weiterhin eine Rotation um die Flächennormale der Bewegungsebene überlagert.

Die jeweils resultierenden Projektionsvektoren aus den sich schneidenden Kraftwirkungslinienprojektionen sind derart orientiert, daß das bei Multiplikation entstehende Skalarprodukt negativ ist, der eingeschlossene Winkel also größer als 90 Grad und kleiner als 270 Grad ist. Dies führt dazu, daß sich die beiden Aktorpaare gegenseitig zusammendrücken.

In dieser Anordnung findet bei geeigneter Ansteuerung aller Aktoren keine Bewegung sondern nur eine Erhöhung des elastischen Potentials statt. So kann auf einfache Weise die für Piezoaktoren nötige Vorspannung erreicht werden. Diese Vorspannung kann als hydrostatische Last aufgebracht werden, d. h. die Vorspannung bleibt im gesamten Bewegungsraum gleich. Da das gesamte elastische Potential in der Anordnung bei Bewegung nicht geändert wird, findet auch kein Stellwegverlust auf Seiten der Aktoren statt, wie es bei einer Vorspannung durch Federn der Fall wäre. Vielmehr kann durch Ausnutzung des Nachpolarisationseffektes bei Piezoaktoren der Stellweg vergrößert werden.

Bei Anordnung der Aktoren entlang der Kanten eines Obeliskens schneiden sich die Kraftwirkungslinien jeweils zweier Aktoren in einem Punkt. Die erzeugenden Rechtecke des Obeliskens werden vorzugsweise so ausgebildet, daß der Längenunterschied und der Breitenunterschied der beiden erzeugenden Rechtecke der gleiche und ungleich Null ist. Dadurch wird erreicht, daß die Steifigkeit der Gesamtanordnung in allen Achsen gleich ist, da der Winkel zwischen jeweils zwei benachbarten Kraftwirkungslinienprojektionen genau 90 Grad beträgt. Weiterhin sind laterale Stellbewegungen und Drehbewegungen weitgehend entkoppelt, da die Projektionen der Resultierenden der sich jeweils in einem Punkt schneidenden Kraftwirkungslinien gegengerich-

tet und fluchtend sind, so daß bei lateraler Krafteinprägung kein resultierendes Moment entsteht.

Aufgrund der Fesselung durch die Stäbe können sich die Schnittpunkte der Kraftwirkungslinien — die Kraftwirkungspunkte — nur auf einer sphärischen Fläche bewegen. Da die beiden Kraftwirkungspunkte nur bezüglich ihres Abstandes, jedoch außer in der Höhe nicht bezüglich ihrer Lage festgelegt sind, kann ein Körper, die Deckplatte, der jeweils translatorisch fest mit den Kraftwirkungspunkten verbunden ist, in drei Freiheitsgraden gegenüber eines Bezugskörpers, der Grundplatte, positioniert werden. Die Koppelung der Translatoren und der Grundplatte erfolgt mit Gelenken. Die Gelenke werden vorzugsweise als Festkörpergelenke — hierbei wird als Gelenkbeweglichkeit die elastische Verformung eines Körpers genutzt — ausgeführt, eine Ausführung mit Gelenken mit Rollreibung oder Gelenken mit Gleitreibung ist ebenfalls möglich. Vorzugsweise befindet sich an einem Ende der Aktoren ein Kugelgelenk und am anderen Ende ein Kardangelenken. Es ist auch eine Ausführung mit zwei Kugelgelenken möglich. Hierbei ergibt sich jedoch jeweils ein weiterer Festkörperfriheitsgrad, jeweils die Drehung um die Aktor-Längsachse. Diese freie Festkörperbewegung stört allerdings die Funktion nicht.

Die Grundplatte kann beliebige Gestalt aufweisen. Vorzugsweise ist sie scheibenförmig ausgeführt. In der Grundplatte sind vorzugsweise Durchgangslöcher angebracht, an welchen die Gelenke zu den Stäben befestigt werden. Ebenfalls ist es möglich, Gewinde anzubringen, in welche die mit einem Schraubenansatz versehenen Gelenkstücke eingeschraubt werden. Die Gewinde können als Linksgewinde und als Rechtsgewinde ausgeführt werden. Dabei ist es zweckmäßig, bei einander zugeordneten Gelenkstücken jeweils ein Linksgewinde und ein Rechtsgewinde zu verwenden, da dann eine Längeneinstellung ohne Relativverdreher der Gelenkstücke zueinander erfolgen kann. Zur besseren Einstellbarkeit werden vorzugsweise Feingewinde verwendet. Weiterhin befinden sich in der Grundplatte die Anschlußstellen für die den Translatoren zugeordneten Gelenke. Diese werden vorzugsweise als Gewindebohrungen ausgeführt, deren Achse parallel zur Kraftwirkungslinie des zugeordneten Translators in Ruhestellung ist. Das Gewinde kann als Sackloch- oder Durchgangsgewinde ausgeführt werden. Die Gewinde können als Links- oder Rechtsgewinde ausgeführt sein. Zur besseren Einstellbarkeit werden vorzugsweise Feingewinde verwendet. Die Anschlußstellen für die Translatoren können ebenfalls in Form einer kegeligen, sphärischen oder zylindrischen Senkung mit Fase oder Rundung am Rand ausgeführt werden. In dieser Ausführung werden die Aktoren mit Reibgelenken gelagert. Um einen geringeren Reibkoeffizient zu erreichen, kann die Berührfläche mit Kohlenstoff beschichtet werden. Die Beschichtung kann ebenfalls durch Einpolieren von Kohlenstaub erfolgen. Weiterhin ist es möglich, als Reibpartner Bronzeinlagen zu verwenden. Um im Falle einer Linienberührung die Auflagerfläche und damit die Gesamtsteifigkeit zu erhöhen, kann die Form der Berührfläche durch Abformen des anderen Berührpartners angepaßt werden. Bei einer Ausführung mit Reibgelenken steigt die Gesamtsteifigkeit des Systems. Die Grundplatte wird vorzugsweise aus Stahl gefertigt.

Als Aktoren werden vorzugsweise Piezotranslatoren in Multilayertechnik verwendet. Durch die Verwendung piezoelektrischer Translatoren in Multilayertechnik ist es möglich, mit niedrigen Betriebsspannungen bis ca.

200 V zu arbeiten. Weiterhin kann mit piezoelektrischen Aktoren eine hohe Dynamik des Stellantriebs erreicht werden. Da Piezoaktoren in erster Linie eine kapazitive Last darstellen, ist auch eine gute Dynamik des Gesamtsystems Aktorik mit Spannungsversorgung möglich. Dies liegt daran, daß der elektrische Widerstand einer kapazitiven Last bei steigender Frequenz gegen Null geht. Piezoaktoren prägen in die Struktur einen Weg ein, die Kraft, die auf die Struktur wirkt, kommt durch elastische Verformung des Piezoaktors zustande. Man kann einen Piezotranslator näherungsweise als Feder mit veränderlicher entspannter Federlänge auffassen. Durch den eingprägten Weg verfügt die Struktur über eine stabile Gleichgewichtslage, die das System leicht regelbar macht.

Piezotranslatoren besitzen eine sehr hohe Stellgenauigkeit bei gleichzeitig guter Dynamik. Der Stellweg von Piezotranslatoren ist allerdings gering, so daß zur Erreichung eines großen Stellwegs eine große Übersetzung nötig ist. Um eine große Übersetzung zu realisieren eignet sich die Erfindung gut, da beliebig hohe Übersetzungen bei gleicher Masse der Gesamtanordnung erreicht werden können. Durch kurzen Kraftfluß kann auch bei großer Übersetzung eine hohe Steifigkeit realisiert werden.

Erfindungsgemäß ist es ebenfalls möglich, Piezotranslatoren in monolithischer Bauweise, elektrodynamische Linearantriebe, Spindelantriebe, hydraulische und pneumatische Antriebe sowie alle anderen Antriebe für translatorische Bewegungen vorzusehen. Weiterhin sind Antriebe möglich, welche sich aus Rotationsaktoren wie Elektromotoren und Hydromotoren in Verbindung mit einem Pleueltrieb zusammensetzen. Translatoren aus Formgedächtnislegierungen, magnetostruktive Aktoren und magnetodynamische Aktoren sind ebenfalls verwendbar.

Zur Koppelung der verschiedenen Baugruppen eignen sich Festkörpergelenke. Festkörpergelenke sind spielfrei und reibungsfrei. Dadurch werden Umkehrspiele und Hystereseerscheinungen im Mechanismus weitgehend vermieden. Als Material für die Festkörpergelenke wird vorzugsweise Stahl verwendet. Dabei ist es sinnvoll, den Stahl zu härten, um plastische Verformung und somit Dissipation zu vermeiden. Erfindungsgemäß ist ebenfalls die Verwendung von Verbundwerkstoffen wie z. B. Kohlefaser- oder Kevlarverbundwerkstoff vorgesehen. Die Festkörpergelenke werden vorzugsweise so ausgeführt, daß als Freiheitsgrade drei Rotationen möglich sind. Dies geschieht durch eine rotationssymmetrische Verdünnung des Gelenkstücks an der vorgesehenen Gelenkstelle. Die Gelenkstücke haben vorzugsweise an einem Ende einen Gewindeansatz mit Außengewinde, der zum Anschluß an die Grundplatte oder an die Deckplatte dient. Das Gewinde kann als Linksgewinde oder als Rechtsgewinde ausgeführt sein. An den mit den Translatoren verbundenen Gelenkstücken befindet sich vorzugsweise am anderen Ende eine ebene Aufstandsfläche. Die Aufstandsfläche kann ebenfalls so gestaltet werden, daß der Translator durch sie in den lateralen Richtungen geführt wird. Die Festkörpergelenke können auch so ausgeführt werden, daß sie über zwei Verdünnungen verfügen. Die Gestalt jeder der Verdünnungen ist dabei derart, daß von zwei gegenüberliegenden Seiten in einem massiven Körper Einschnitte angebracht werden. Dies führt an der engsten Stelle zu einem rechteckigen Querschnitt, bei dem das Verhältnis von großer zu kleiner Seitenlänge sehr groß ist. Man kann hierdurch erreichen, daß um die

Achse, welche parallel zur längeren Seite des Rechtecks ist, ein kleines Flächenträgheitsmoment und um die dazu orthogonale Achse ein großes Flächenträgheitsmoment herrscht. Bei gleichem Flächenträgheitsmoment — gemeint ist hier das kleinste — bietet ein solches Lager mehr Lagerquerschnittsfläche und damit eine höhere axiale Steifigkeit, als ein rotationssymmetrisch eingekerbtes Festkörpergelenk.

Die ermöglichte Bewegung ist eine Drehung um eine Achse, welche in der Ebene des kleinsten Gelenkquerschnitts liegt.

Die einzelnen Normalenvektoren an den Gelenk Außenflächen der dünnsten Gelenkquerschnitte schließen dabei einen speziellen Winkel ein. Der Winkel wird zweckmäßigerweise so gewählt, daß die beiden Normalenvektoren eine Basis für den verlangten Bewegungsraum bilden. In einer speziellen Ausführungsform stehen die Vektoren senkrecht aufeinander. Dadurch wird erreicht, daß die Steifigkeiten entlang beider Achsen gleich sind.

Die Verdünnungen werden vorzugsweise durch zwei zylindrische Aussparungen erzeugt. Die Zylinderachsen der Aussparungen stehen dabei senkrecht auf der Längsachse des Gelenks. Die Lageroberflächen werden einem Feinbearbeitungsverfahren unterzogen, um Kerbeinfluß zu verhindern. Die mit den Stäben verbundenen Gelenkstücke werden bei einer bevorzugten Bauform aus einem Stück mit den Stäben selbst gefertigt.

Die Kopplung der Translatoren mit den Gelenkstücken erfolgt vorzugsweise durch Kleben. Erfindungsgemäß ist ebenfalls Klemmen möglich. Die Aktoren und die Gelenkstücke können auch einfach aufeinandergestellt werden, da im Mechanismus zwischen Gelenkstück und Translator in der bevorzugten Betriebsart lediglich Druckspannung herrscht.

Als Klebstoff wird vorzugsweise Cyanacrylat oder Epoxdharz verwendet.

Die Stäbe werden vorzugsweise in zylindrischer Gestalt ausgeführt. Ebenfalls ist eine Ausführung in quaderförmiger Gestalt sinnvoll. Da die Stäbe in einer bevorzugten Bauform direkt mit den ihnen zugeordneten Gelenkstücken verbunden sind, richtet sich die Gestalt der Stäbe in erster Linie nach den Fertigungsmethoden der Gelenke an den zugeordneten Gelenkstücken.

Die Deckplatte wird vorzugsweise ähnlich der Grundplatte ausgeführt. Im bevorzugten Anwendungsfall ist die Grundplatte fest mit einem übergeordneten Handhabungsgerät verbunden, die Deckplatte wird gegenüber ihr bewegt. Es ist daher zweckmäßig, die Deckplatte dünner als die Grundplatte zu gestalten, da dies durch Reduzierung der bewegten Massen zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens der Mikropositioniereinrichtung führt.

#### Beschreibung der Figuren

Bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Mikropositioniereinrichtung nach Anspruch 1 werden in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine bevorzugte Anordnung der zur Fesselung von Freiheitsgraden vorgesehenen Stäbe der erfindungsgemäßen Mikropositioniereinrichtung.

Die Stäbe sind ähnlich den Kanten eines aus kongruenten gleichseitigen Dreiecken erzeugten Prismas angeordnet, so daß eine nach allen Seiten homogene Steifigkeit bezüglich Kippungen in der Bewegungsebene zu

erreicht ist.

Fig. 2 eine bevorzugte Anordnung der zu Antrieb vorgesehenen Aktoren der erfindungsgemäßen Mikropositioniereinrichtung. Dargestellt sind die Kraftvektoren der Aktoren (A, B, C und D). Der Verlauf der Kraftwirkungslinien ist jeweils gestrichelt bis zum jeweiligen Kraftwirkungslinien-Schnittpunkt (6) dargestellt.

Die Aktoren sind ähnlich dem Kantenverlauf eines Obelisken angeordnet. Das größere der beiden erzeugenden Rechtecke hat die Seitenlängen a und b. Die Projektionen der Kraftwirkungslinien zweier benachbarter Aktoren schließen jeweils einen rechten Winkel ein und somit ist die Gesamtsteifigkeit der Anordnung in alle Translationsrichtungen in der Bewegungsebene gleich. Die Schnittpunkte jeweils zweier Kraftwirkungslinien liegen in der gleichen Höhe, so daß bei Stellbewegungen kein Moment in der Bewegungsebene entsteht.

Fig. 3 die Draufsicht auf den Obelisken, entlang dessen Kanten die Aktoren in einer bevorzugten Bauform der erfindungsgemäßen Mikropositioniereinrichtung ausgerichtet sind. Es sind die Kraftvektoren der Aktoren (A, B, C, und D) als Pfeile bis zum jeweiligen Kraftwirkungslinien-Schnittpunkt (6) dargestellt. Dargestellt ist ebenfalls der jeweils 2s betragenden Längen- und Seitenunterschied der erzeugenden Rechtecke. Das größere der beiden erzeugenden Rechtecke des Obelisken hat die Seitenlängen a und b.

Aus Fig. 4 ist eine bevorzugte Bauform der Mikropositioniereinrichtung ersichtlich. Sie besteht aus einer Grundplatte (1), in welche auf einem Teilkreis gleichmäßig verteilt drei Bohrungen angebracht sind, in welche Gelenkkörper (3a) für die Stäbe (3) eingeschraubt sind. Weiterhin sind in der Grundplatte Bohrungen angebracht, in welche Gelenkkörper (2a) für die Aktoren (2) eingeschraubt sind. Um Verspannungen zu minimieren sind die Bohrungen jeweils so angebracht, daß die Bohrungssachse zu der Kraftwirkungslinie des Aktors oder des Stabs in Ruhestellung in Flucht ist. An den Gelenkstücken für die Stäbe sind auf der der Grundplatte abgewandten Seite die Stäbe angebracht. Gelenkstücke und Stab sind aus einem Stück gefertigt. Als Aktoren werden Piezostabaktoren in Multilayertechnik verwendet. Diese ändern bei Anlegen einer elektrischen Spannung ihre Länge. Weiterhin besteht die Mikropositioniereinrichtung aus einer Deckplatte (4), in der ebenfalls Bohrungen für Gelenkkörper angebracht sind. Die an der Deckplatte angebrachten Gelenkkörper (2b) und (3b) haben die gleiche Gestalt wie die an der Grundplatte angebrachten. An der Deckplatte ist ein Endeffektor (5) in Form eines Vakuumgreifers für kleine Bauteile angebracht.

Die bei den Gelenkstücken verwendeten Gelenke sind als Festkörpergelenke ausgeführt. Die Gelenke haben die Funktion eines Kugelgelenks. Sie bestehen aus einem Körper elastischen Materials wie z. B. Stahl, in dem eine rotationssymmetrische Nut angebracht ist.

In Fig. 5 ist das Funktionsprinzip der in Fig. 4 dargestellten Mikropositioniereinrichtung gezeigt. Die gestrichelt gezeichneten Kraftwirkungslinien jeweils zweier Aktoren (2) schneiden sich in einem Kraftwirkungspunkt (6). Zur besseren Übersichtlichkeit sind in Fig. 5 die zur Fesselung vorgesehenen Stäbe nicht dargestellt, sondern lediglich die zu diesem gehörigen Gelenkstücke.

In Fig. 6 ist die Mikropositioniereinrichtung in einer lateral ausgelenkten Lage gezeigt. Die Ruhelage ist dabei gestrichelt dargestellt. Zwei benachbarte Aktoren (A) und (B) sind dabei um den gleichen Betrag gelängt,

die zwei anderen Aktoren (C) und (D) um den gleichen Betrag gekürzt. Hierdurch sind die beiden deckplattenfesten Kraftwirkungspunkte (6) um den gleichen Betrag und in die gleiche Richtung verschoben und dadurch die Deckplatte lateral ausgelenkt.

In Fig. 7 ist die Mikropositioniereinrichtung in einer azimuthal ausgelenkten Lage gezeigt. Zwei gegenüberliegende Aktoren (A) und (C) sind dabei um den gleichen Betrag gelängt, die beiden anderen Aktoren (B) und (D) um den gleichen Betrag gekürzt. Hierdurch werden die beiden deckplattenfesten Kraftwirkungspunkte (6) um den gleichen Betrag und in entgegengesetzter Richtung verschoben. Die Deckplatte wird azimuthal ausgelenkt.

## Patentansprüche

### 1. Mikropositioniereinrichtung mit

- (a) einem Sockelelement (1),
- (b) einem mit einem Abstand zu dem Sockelelement (1) angeordneten Positionierelement (4), das gegenüber dem Sockelelement (1) bewegbar und positionierbar ist,
- (c) mindestens drei Stützstäben (3) und vier Aktorstäben (2), wobei

i. jeder der Stützstäbe (3) und jeder der Aktorstäbe (2) mit einem Ende über ein sockelseitiges Gelenk (2a, 3a) an dem Sockelelement (1) und mit dem anderen Ende über ein positionierseitiges Gelenk (2b, 3b) an dem Positionierelement (4) angebracht ist, wobei entweder das sockelseitige Gelenk (2a, 3a) oder das positionierseitige Gelenk (2b, 3b) derart ausgebildet ist, daß Bewegungen in allen drei Rotationsfreiheitsgraden zugelassen sind, und das andere Gelenk derart ausgebildet ist, daß unter den Bewegungen in den drei Rotationsfreiheitsgraden höchstens die Rotation um die Stabachse eingeschränkt ist,

ii. die Stützstäbe (3) zueinander parallel und nicht in einer Ebene verlaufend angeordnet sind,

iii. die Aktorstäbe (2) derart angeordnet sind, daß sie untereinander nicht parallel sind und sich in einer zu der Richtung, in der die Stützstäbe (3) verlaufen, senkrechten Ebene die Projektionen zweier der Aktorstäbe (2) in einem ersten Kraftwirkungspunkt schneiden und die Projektionen weiterer zweier der Aktorstäbe (2) in einem zweiten Kraftwirkungspunkt mit einem Abstand zu dem ersten Kraftwirkungspunkt schneiden, und

iv. jeder der Aktorstäbe (2) einen Aktor (2c) aufweist, von dem die Länge des Stabes verstellbar ist.

2. Mikropositioniereinrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Stützstäbe (3) und die Aktorstäbe (2) zwischen dem sockelseitigen Gelenk (2a, 3a) und dem positionierseitigen Gelenk (2b, 3b) jeweils die gleiche Länge aufweisen.

3. Mikropositioniereinrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Stützstäbe (3) auf Zug und die Aktorstäbe (2) auf Druck vorgespannt sind.

4. Mikropositioniereinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Gelenke (2a; 2b, 3a, 3b) als Stababschnitte mit vermindertem Querschnitt ausgebildet sind und die sich an den gegenüberlie-

genden Enden der Stababschnitte mit verminder-  
tem Querschnitt anschließenden Stababschnitte  
unter in dem verminderten Querschnitt erfolgender  
elastischer Materialverformung gegeneinander  
schwenkbar sind.

5. Mikropositioniereinrichtung nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche, bei der die Gelenke (2a,  
2b) an den auf Druck vorgespannten Stäben (2) in  
Form von Kugelgelenken ausgeführt sind.

6. Mikropositioniereinrichtung nach Anspruch 5, 10  
bei dem die Kugelgelenke mit Kohlenstoff be-  
schichtet sind, die mit Kohlenstoff als Gleitstoff  
versehen sind.

7. Mikropositioniereinrichtung nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche, bei der die passiven Stäbe 15  
(3) zur Ankoppelung an das Sockelelement (1) und  
an das Positionierelement (4) mit jeweils einem  
Links- und einem Rechtsgewinde versehen sind.

8. Mikropositioniereinrichtung nach einem der vor-  
hergehenden Ansprüche, bei der die aktiven Stäbe 20  
(2) zur Ankoppelung an das Sockelelement (1) und  
an das Positionierelement (4) mit jeweils einem  
Links- und einem Rechtsgewinde versehen sind.

9. Mikropositioniereinrichtung mit

- (a) einem Sockelelement (1), 25
- (b) einem mit einem Abstand zu dem Sockel-  
element (1) angeordneten Positionierelement  
(4), das gegenüber dem Sockelelement (1) be-  
wegbar und positionierbar ist,
- (c) zwei Stützstäben (3) und fünf Aktorstäben 30  
(2), wobei

- i. jeder der Stützstäbe (3) und jeder der  
Aktorstäbe (2) mit einem Ende über ein  
sockelseitiges Gelenk (2a, 3a) an dem Sok- 35  
kelelement (1) und mit dem anderen Ende  
über ein positionierseitiges Gelenk (2b,  
3b) an dem Positionierelement (4) ange-  
bracht ist, wobei entweder das sockelseiti-  
ge Gelenk (2a, 3a) oder das positioniersei- 40  
tige Gelenk (2b, 3b) derart ausgebildet ist,  
daß Bewegungen in allen drei Rotations-  
freiheitsgraden zugelassen sind, und das  
andere Gelenk derart ausgebildet ist, daß  
unter den Bewegungen in den drei Rota- 45  
tionsfreiheitsgraden höchstens die Rota-  
tion um die Stabachse eingeschränkt ist,
- ii. die Stützstäbe (3) zueinander parallel  
angeordnet sind,
- iii. die Aktorstäbe (2) derart angeordnet 50  
sind, daß sie untereinander nicht parallel  
sind und sich in einer zu der Richtung, in  
der die Stützstäbe (3) verlaufen, senkrechten  
Ebene die Projektionen zweier der  
Aktorstäbe (2) in einem ersten Kraftwir- 55  
kungspunkt schneiden und die Projektio-  
nen weiterer zweier der Aktorstäbe (2) in  
einem zweiten Kraftwirkungspunkt mit  
einem Abstand zu dem ersten Kraftwir-  
kungspunkt schneiden, und
- iv. der fünfte Aktor parallel zu den Stütz- 60  
stäben und nicht mit ihnen in einer Ebene  
verlaufend angeordnet ist, und
- v. jeder der Aktorstäbe (2) einen Aktor  
(2c) aufweist, von dem die Länge des Sta-  
bes verstellbar ist. 65

10. Mikropositioniereinrichtung mit

- (a) einem Sockelelement (1),
- (b) einem mit einem Abstand zu dem Sockel-

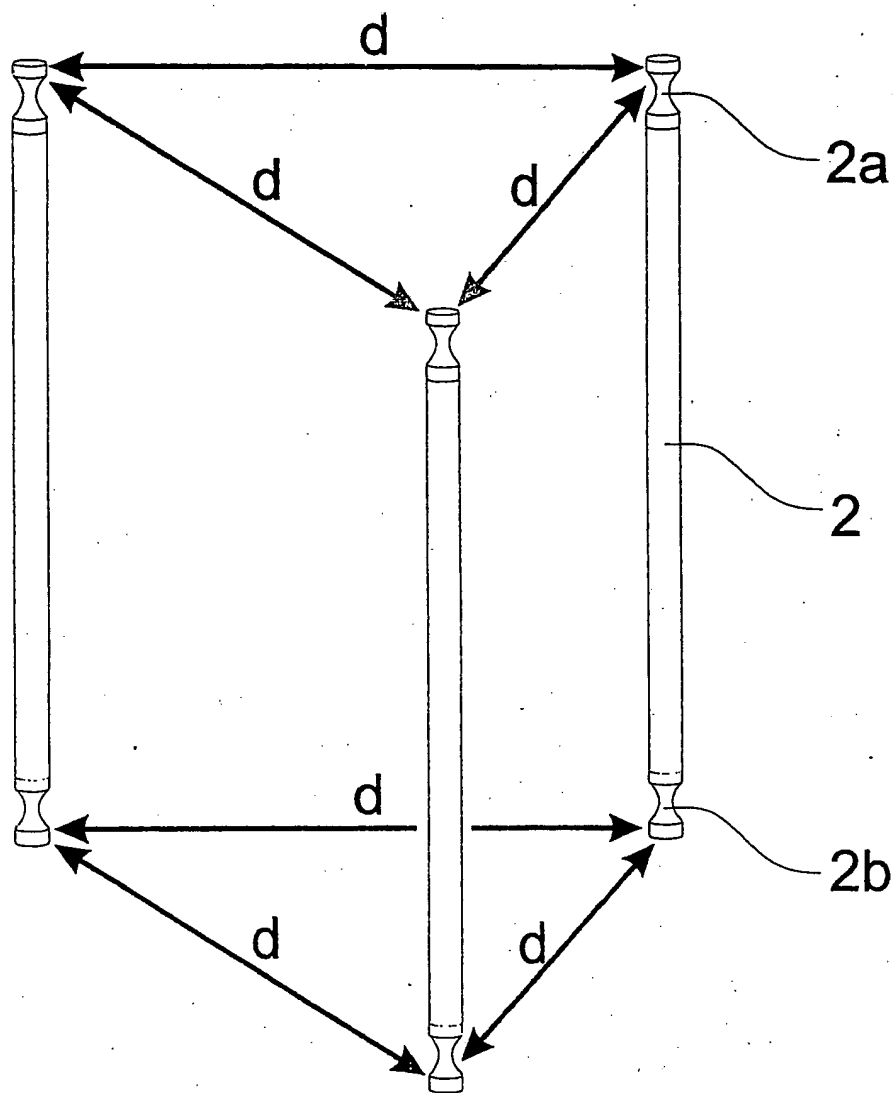
element (1) angeordneten Positionierelement  
(4), das gegenüber dem Sockelelement (1) be-  
wegbar und positionierbar ist,

(c) einem Stützstab (3) und sechs Aktorstäben  
(2), wobei

- i. der Stützstab (3) und jeder der Aktorstä-  
be (2) mit einem Ende über ein sockelseiti-  
ges Gelenk (2a, 3a) an dem Sockelelement  
(1) und mit dem anderen Ende über ein  
positionierseitiges Gelenk (2b, 3b) an dem  
Positionierelement (4) angebracht ist, wo-  
bei entweder das sockelseitige Gelenk  
(2a, 3a) oder das positionierseitige Gelenk  
(2b, 3b) derart ausgebildet ist, daß Bewe-  
gungen in allen drei Rotationsfreiheits-  
graden zugelassen sind, und das andere  
Gelenk derart ausgebildet ist, daß unter  
den Bewegungen in den drei Rotations-  
freiheitsgraden höchstens die Rotation  
um die Stabachse eingeschränkt ist,
- ii. die Aktorstäbe (2) derart angeordnet  
sind, daß sie untereinander nicht parallel  
sind und sich in einer zu der Richtung, in  
der der Stützstab (3) verläuft, senkrechten  
Ebene die Projektionen zweier der Aktor-  
stäbe (2) in einem ersten Kraftwirkungs-  
punkt schneiden und die Projektionen  
weiterer zweier der Aktorstäbe (2) in ei-  
nem zweiten Kraftwirkungspunkt mit ei-  
nem Abstand zu dem ersten Kraftwir-  
kungspunkt schneiden und und die Pro-  
jektionen weiterer zweier Aktorstäbe in  
einem dritten Kraftwirkungspunkt  
schneiden mit einem Abstand zu den bei-  
den anderen Kraftwirkungspunkten, wo-  
bei die Projektionen der drei Kraftwir-  
kungspunkte nicht auf einer Geraden lie-  
gen,
- iii. jeder der Aktorstäbe (2) einen Aktor  
(2c) aufweist, von dem die Länge des Sta-  
bes verstellbar ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

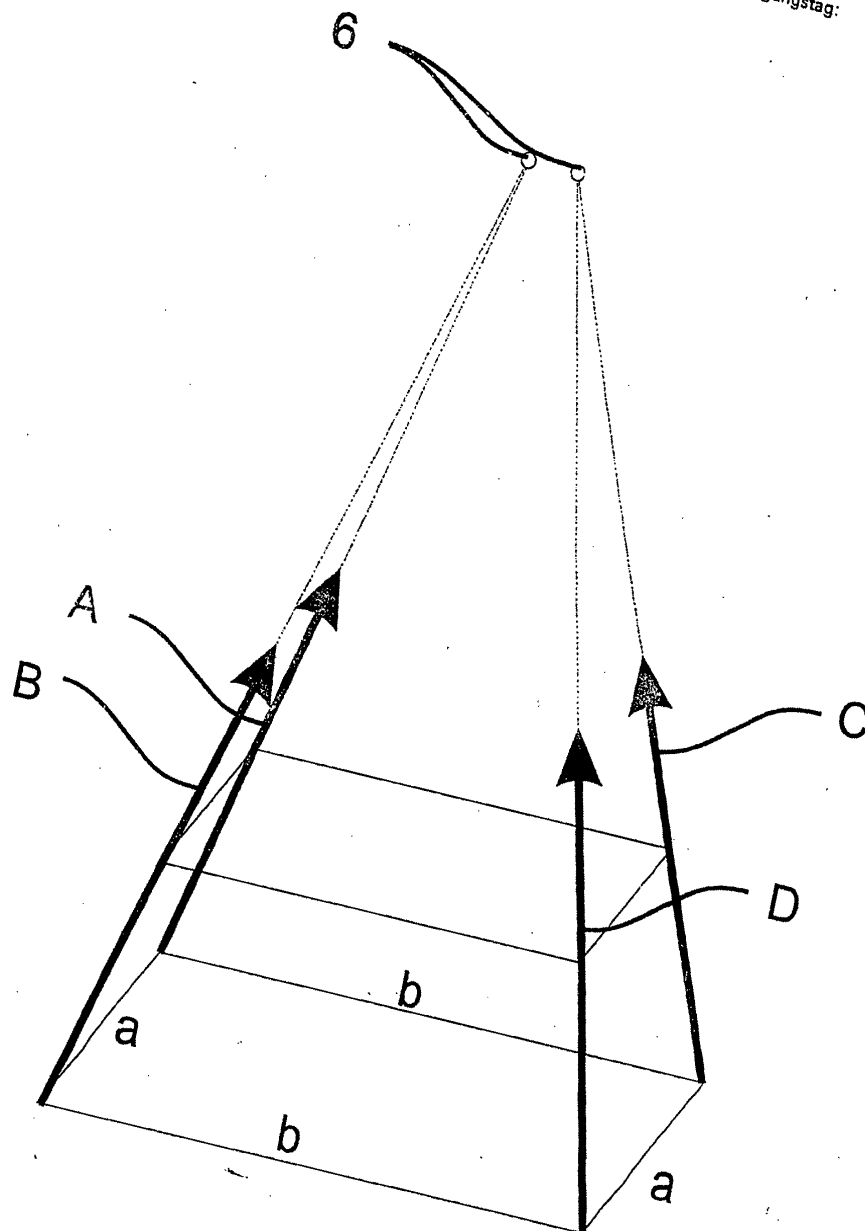


Figur 1:

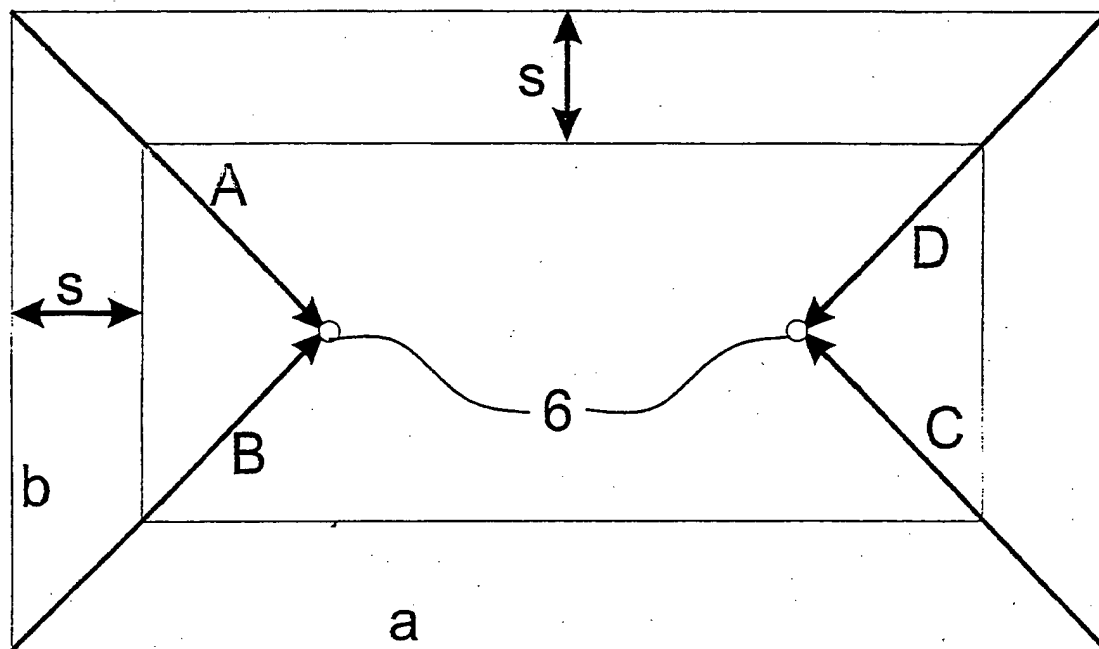


Nummer  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

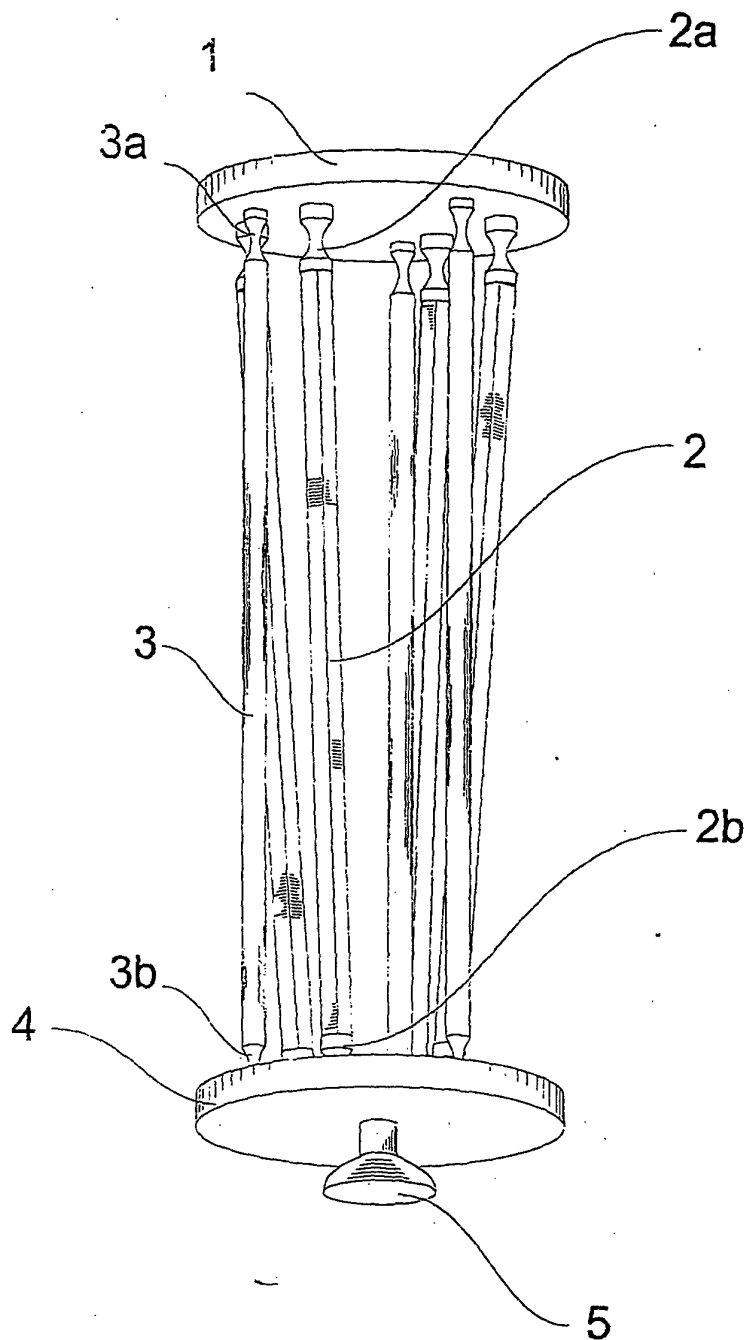
DE 197 42 205 A1  
G 12 B 1/00  
12. März 1998



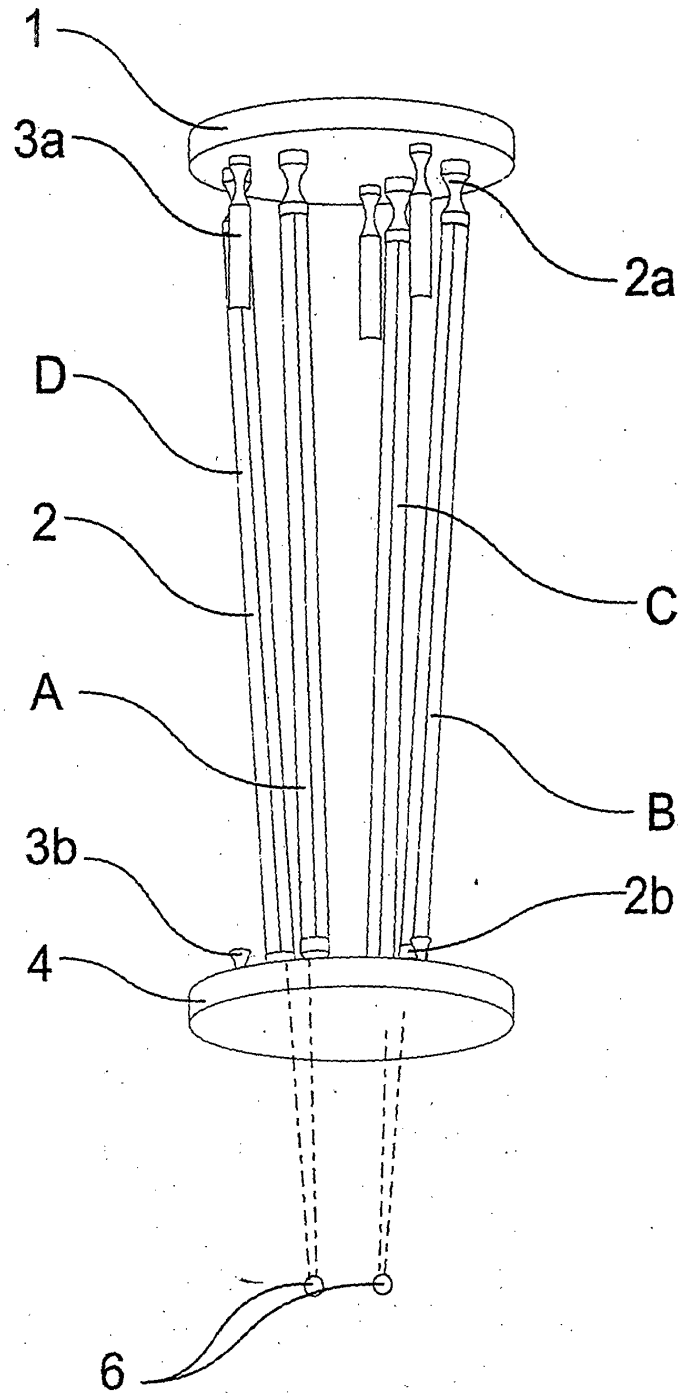
Figur 2:



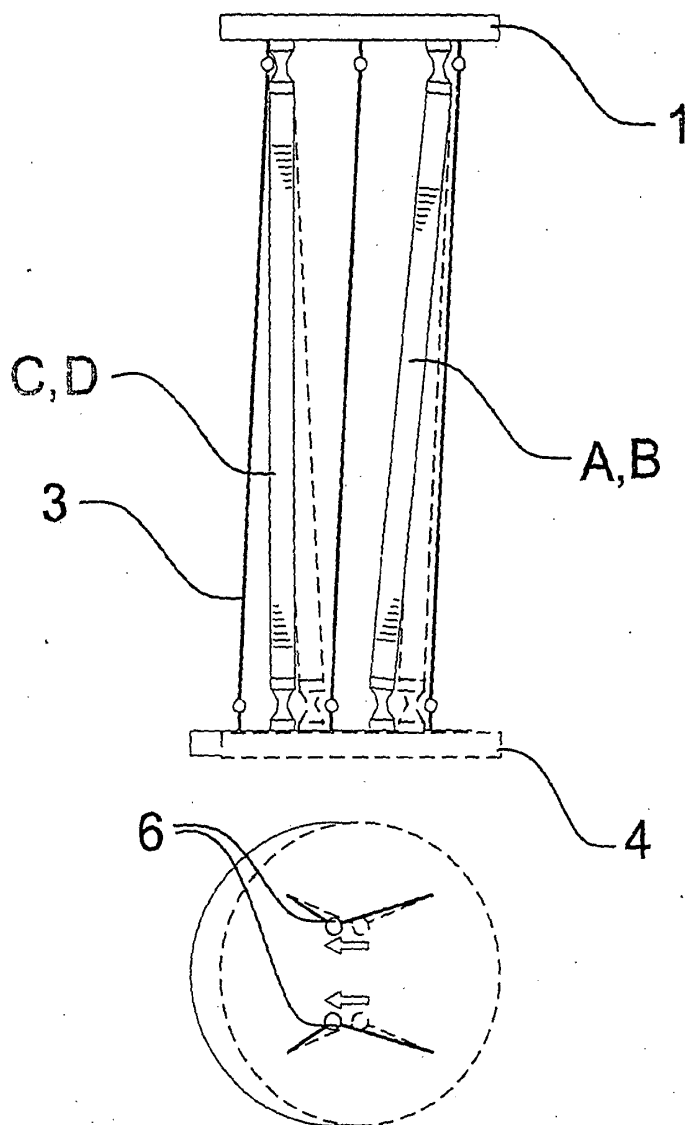
Figur 3:



Figur 4:



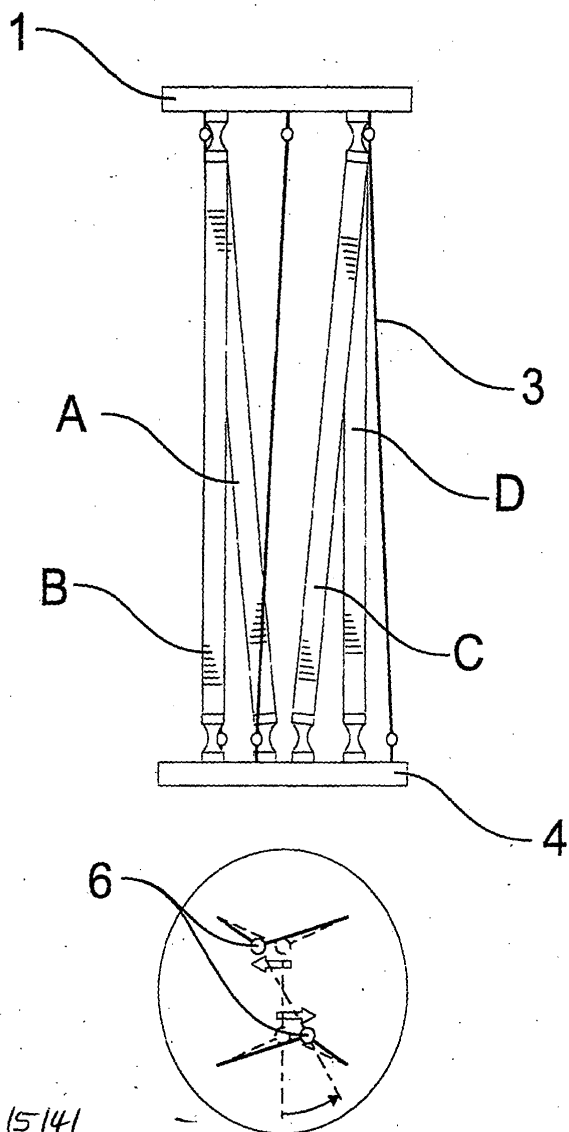
Figur 5:



Figur 6:

AN ERREICH

523 12 1



Figur 7:

DOCKET NO: 2000P15141  
 SERIAL NO: 09/923,720  
 APPLICANT: Pietzschmann  
 LERNER AND GREENBERG P.A.  
 P.O. BOX 2480  
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
 TEL. (954) 925-1100